

(Hibah Monodisiplin)

Perjanjian No: III/LPPM/2013-03/1-P

**LAPORAN PENELITIAN**  
**Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum**  
**untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi**  
**Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X**



**Disusun Oleh:**  
**A Prima Kristijarti, S.Si., MT**  
**Prof. Dr. Ign Suharto, APU**  
**Marieanna, ST**

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat**  
**Universitas Katolik Parahyangan**  
**(2013)**

DAFTAR ISI		1
ABSTRAK		2
BAB I	PENDAHULUAN	3
1.1	Latar belakang	3
1.2	Tujuan	4
1.3	Urgensi Penelitian	4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1	Sedimentasi dan Partikel dalam Air Limbah	5
2.2	Pertimbangan dalam Penggunaan Proses Kimia	6
2.3	Koagulasi dan Flokulasi	6
2.4	Koagulan dan Kimia Dasarnya	8
2.5	Koagulasi Optimum	14
2.6	Kesesuaian Pemilihan Percobaan Koagulasi-Flokulasi	16
BAB III	METODE PENELITIAN	18
3.1	Penelitian Pendahuluan	18
3.2	Penelitian Utama	18
3.3	Prosedur Analisis	20
BAB IV	JADWAL PELAKSANAAN	22
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
BAB VI	KESIMPULAN	32
	DAFTAR PUSTAKA	33

## **ABSTRAK**

*Sesuai peraturan yang berlaku, industri jamu wajib melakukan pengolahan air limbah yang muncul dari proses produksinya. Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu PT X belum memberikan efisiensi pengolahan yang diharapkan sehingga perlu dilakukan perbaikan. Salah satu operasi pengolahan air limbah yang berpengaruh besar terhadap kualitas effluent adalah pengendapan untuk memisahkan padatan. Operasi pengendapan utama terjadi pada circular clarifier. Hasil pemeriksaan kualitas air limbah yang dilakukan secara berkala oleh pabrik menunjukkan kandungan padatan tersuspensi effluent yang masih jauh di atas batas yang diijinkan dalam Perda Jateng No. 5 Tahun 2012 sehingga mengindikasikan dibutuhkannya penambahan proses koagulasi-flokulasi pada circular clarifier yang sudah ada. Percobaan koagulasi-flokulasi dengan PAC menghasilkan hasil yang lebih baik daripada dengan  $\text{FeSO}_4$ . Dosis PAC yang menyebabkan penyisihan paling tinggi adalah 0,163 g/L mencapai nilai 99,24%. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran untuk menentukan jenis dan dosis koagulan yang dapat secara efektif mempercepat proses pengendapan, khususnya pada pengolahan air limbah ekstraksi jamu di PT X.*

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jamu merupakan obat tradisional Indonesia yang telah menjadi salah satu budaya masyarakat untuk menjaga kesehatan. Pabrik X merupakan salah satu pabrik jamu ternama dari banyaknya pabrik jamu besar di Indonesia. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 09 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pengolahan Obat Tradisional/ jamu mewajibkan pabrik jamu untuk melakukan pengolahan air limbah sehingga mutu air limbah yang dibuang tidak melampaui baku mutu air limbah yang ditetapkan. Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah No. 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah menyatakan bahwa setiap usaha dan atau kegiatan wajib mentaati baku mutu air limbah untuk menjamin pelestarian fungsi lingkungan hidup. Baku mutu air limbah industri jamu dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Jamu

Sumber: Lampiran I Perda Jateng No. 5 Tahun 2012.

NO	PARAMETER	KADAR MAKSIMUM (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
1.	BOD <sub>5</sub>	60	0,9
2.	COD	120	1,8
3.	TSS	60	0,9
4.	Fenol	0,2	0,003
5.	pH	6,0 - 9,0	
6.	Debit Maksimum	15 m <sup>3</sup> /ton bahan baku	

Pabrik X telah membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah untuk memenuhi kepentingan mandatori tersebut. Pengolahan air limbah Pabrik X merupakan pengolahan biologis lumpur aktif yang terdiri dari screen bar, dilanjutkan ke kolam ekualisasi, kolam anaerob, kolam aerob, kolam pengendapan, dan saringan pasir. Saat ini kualitas air limbah yang telah melewati instalasi pengolahan belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Oleh karena itu dibutuhkan studi untuk mengevaluasi dan memperbaiki sistem yang ada.

Salah satu unit pengolahan yang belum berjalan sesuai harapan adalah kolam pengendapan. Salah satu pilihan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan dan

mempersingkat waktu detensi kolam sedimentasi adalah dengan menambahkan proses kimia yang akan mendorong terjadinya proses koagulasi-flokulasi yang optimal.

## **1.2 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu jenis koagulan dan dosis optimum (tujuan khusus) yang perlu ditambahkan untuk meningkatkan kinerja kolam sedimentasi instalasi pengolahan air limbah Pabrik Jamu X (tujuan umum).

## **1.3 Urgensi Penelitian**

Proses kimiawi dalam pengolahan air limbah merupakan proses aditif sehingga akan meningkatkan kandungan zat dalam air limbah. Antisipasi penambahan proses kimia dalam pengolahan air limbah adalah dengan menyediakan fasilitas yang memadai untuk menangani, mengolah, dan membuang lumpur yang terbentuk. Penambahan proses kimia dapat menjadi solusi yang cukup efektif dan ekonomis ketika kandungan padatan terlarut dalam air limbah terlalu besar. Penambahan koagulan untuk mendestabilisasi partikel koloid sehingga membentuk agregat yang lebih berat akan mempersingkat waktu pengendapan dan meningkatkan efisiensi penyisihan kolam sedimentasi. Penggunaan koagulan yang relatif tidak banyak juga dapat mempercepat proses pengendapan partikel tersuspensi dalam air limbah.

## **1.4 Kesesuaian Pemilihan Percobaan Koagulasi-Flokulasi**

Saat ini kualitas *effluent* yang keluar dari IPAL pabrik jamu PT X belum sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah, khususnya untuk parameter padatan tersuspensi, sehingga dibutuhkan perbaikan IPAL. Berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengalaman operator IPAL, untuk sementara dapat disimpulkan bahwa kombinasi padatan yang terkandung dalam air limbah tidak memungkinkan untuk mengendap secara gravitasi dalam waktu yang dapat diterima sehingga dibutuhkan koagulan untuk mempercepat proses penyisihan padatan pada *circular clarifier* yang sudah ada. Perusahaan pernah mencoba menggunakan koagulan berupa tawas dengan dosis sebanyak 0,5 g/ L air limbah dan hasil yang didapatkan cukup memuaskan. Walaupun begitu, banyaknya tawas yang dibutuhkan telah menyebabkan peningkatan biaya operasi di luar batas yang dapat ditoleransi oleh perusahaan. Oleh karenanya, penelitian untuk menentukan jenis dan dosis koagulan optimum masih perlu dilakukan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sedimentasi dan Partikel dalam Air Limbah

Sedimentasi adalah proses membiarkan materi tersuspensi mengendap karena gravitasi. Biasanya materi tersuspensi yang disebut flok terbentuk dari materi yang ada dalam air dan bahan kimia yang digunakan dalam koagulasi atau proses-proses pengolahan lainnya. Padatan akan mengendap pada cairan yang densitasnya lebih rendah dibandingkan densitas padatan tersebut. Karakteristik pengendapan dalam proses sedimentasi salah satunya dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk partikel yang cenderung memiliki sedikit muatan listrik.

Partikel dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi partikel tersuspensi dan partikel koloid. Partikel tersuspensi pada umumnya lebih besar dari  $1\ \mu\text{m}$  dan dapat disisihkan dengan sedimentasi secara gravitasi. Partikel koloid yang ada dalam air limbah biasanya memiliki muatan permukaan total negatif dan berukuran sekitar  $0,01\text{-}1\ \mu\text{m}$  sehingga gaya-gaya tarikan antar partikel jauh lebih kecil dibandingkan gaya-gaya tolakan dari muatan listriknya. Dalam kondisi yang stabil seperti itu, *Brownian motion* membuat partikel-partikel koloid tersuspensi. *Brownian motion* berasal dari bombardir termal konstan dari molekul-molekul air yang mengelilingi partikel koloid tersebut.

Karena permukaan koloid memiliki muatan listrik, koloid tersebut sulit untuk bersatu membentuk partikel ukuran yang lebih besar sehingga partikel menjadi stabil dan sulit mengendap. Partikel-partikel koloid yang tersuspensi tersebut dapat berupa senyawa organik atau anorganik yang dapat menimbulkan efek terhadap kesehatan, estetika, dan proses desinfeksi sehingga perlu untuk disisihkan. Faktor-faktor penting yang mempengaruhi karakteristik partikel koloid dalam air limbah yaitu:

1. Ukuran dan jumlah partikel
2. Bentuk dan fleksibilitas partikel
3. Karakteristik permukaan termasuk karakteristik listriknya
4. Interaksi-interaksi partikel-partikel
5. Interaksi-interaksi partikel-pelarut

Partikel koloid tidak dapat disisihkan dengan sedimentasi dalam waktu yang relatif singkat sehingga dibutuhkan metode kimiawi untuk membantu laju pengendapan partikel-partikel tersebut. Unit-unit proses dalam pengolahan air limbah yang

perubahan di dalamnya dipicu dengan atau melalui reaksi-reaksi kimia disebut sebagai unit proses kimiawi.

## **2.2 Pertimbangan dalam Penggunaan Proses Kimiawi**

Salah satu kekurangan penggunaan proses-proses kimiawi dibandingkan dengan unit operasi secara fisis adalah bahwa proses kimiawi merupakan proses aditif yang pada umumnya mengakibatkan terjadinya peningkatan kandungan terlarut dalam air limbah. Salah satu contohnya adalah ketika bahan-bahan kimiawi ditambahkan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan sedimentasi partikel, konsentrasi padatan terlarut dalam air limbah akan bertambah.

Kekurangan lain yang cukup signifikan dalam penggunaan proses kimiawi adalah banyaknya lumpur yang perlu ditangani, diolah, dan dibuang. Selain itu biaya keseluruhan bahan kimia biasanya berhubungan dengan kenaikan biaya energi.

## **2.3 Koagulasi dan Flokulasi**

Salah satu proses kimiawi untuk meningkatkan efisiensi unit sedimentasi dalam pengolahan air limbah adalah koagulasi dan flokulasi. Koagulasi adalah proses mendestabilisasi partikel-partikel koloid sehingga tubrukan partikel dapat menyebabkan pertumbuhan partikel. Menurut Ebeling dan Ogden (2004), koagulasi merupakan proses menurunkan atau menetralkan muatan listrik pada partikel-partikel tersuspensi atau *zeta-potential*-nya. Muatan-muatan listrik yang sama pada partikel-partikel kecil dalam air menyebabkan partikel-partikel tersebut saling menolak sehingga membuat partikel-partikel koloid kecil terpisah satu sama lain dan menjaganya tetap berada dalam suspense. Proses koagulasi berfungsi untuk menetralkan atau mengurangi muatan negatif pada partikel sehingga mengijinkan gaya tarik van der Waals untuk mendorong terjadinya agregasi koloid dan zat-zat tersuspensi halus untuk membentuk *microfloc*. Reaksi-reaksi koagulasi biasanya tidak tuntas dan berbagai reaksi-reaksi samping lainnya dengan zat-zat yang ada dalam air limbah dapat terjadi bergantung pada karakteristik air limbah tersebut dan akan terus berubah seiring berjalannya waktu.

Semua reaksi dan mekanisme yang terlibat dalam pendestabilisasian partikel dan pembentukan partikel yang lebih besar melalui flokulasi perikinetik termasuk sebagai koagulasi. Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan untuk mendestabilisasi partikel koloid dalam air limbah agar flok dapat terbentuk. Flokulasi

adalah proses berkumpulnya partikel-partikel flok mikro membentuk aglomerasi besar melalui pengadukan fisis atau melalui aksi pengikatan oleh flokulan. Flokulan adalah bahan kimiawi, biasanya organik, yang ditambahkan untuk meningkatkan proses flokulasi.

Istilah flokulasi digunakan untuk menggambarkan proses ketika ukuran partikel meningkat sebagai akibat tubrukan antar partikel. Flokulasi dibedakan menjadi:

1. Mikroflokulasi (flokulasi perikinetik) terjadi ketika partikel teragregasi karena gerakan termal acak dari molekul-molekul cairan yang disebut *Brownian Motion*.
2. Makroflokulasi (flokulasi ortokinetik) terjadi ketika partikel teragregasi karena adanya peningkatan gradien-gradien kecepatan dan pencampuran dalam media. Bentuk lain dari makroflokulasi disebabkan oleh pengendapan diferensial, yaitu ketika partikel-partikel besar menarik partikel-partikel kecil membentuk partikel-partikel yang lebih besar. Makroflokulasi belum efektif sampai partikel-partikel koloid mencapai ukuran 1-10  $\mu\text{m}$  melalui kontak yang didorong oleh *Brownian Motion* dan sedikit pencampuran.

Tujuan flokulasi adalah pembentukan partikel melalui agregasi yang dapat disisihkan dengan prosedur pemisahan partikel yang tidak mahal, seperti sedimentasi gravitasi dan filtrasi. Flokulasi air limbah dengan agitasi udara atau mekanis dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan penyisihan padatan tersuspensi dan BOD pada unit pengendapan primer, mengkondisikan air limbah yang mengandung limbah industri tertentu, memperbaiki kinerja tangki pengendapan sekunder setelah proses lumpur aktif, dan sebagai salah satu pengolahan pendahuluan untuk filtrasi effluent sekunder.

Unit proses koagulasi-flokulasi biasanya terdiri dari tiga langkah pengolahan yang terpisah yaitu (Metcalf and Eddy, Inc. 1991 dalam Ebeling dan Ogden 2004):

1. Pada proses pengadukan cepat, bahan-bahan kimia yang sesuai ditambahkan ke dalam aliran air limbah yang kemudian diaduk pada kecepatan tinggi secara intensif,
2. Pada proses pengadukan lambat, air limbah diaduk pada kecepatan sedang supaya membentuk flok-flok besar sehingga mudah diendapkan,
3. Pada proses sedimentasi, flok yang terbentuk selama flokulasi dibiarkan mengendap kemudian dipisahkan dari aliran *effluent*.



## 2.4 Koagulan dan Kimia Dasarnya

Senyawa koagulan adalah senyawa yang mempunyai kemampuan mendestabilisasi koloid dengan cara menetralkan muatan listrik pada permukaan koloid sehingga koloid dapat bergabung satu sama lain membentuk flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga mudah mengendap.

Penambahan dosis koagulan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Dosis koagulan yang dibutuhkan untuk pengolahan air tidak dapat diperkirakan berdasarkan kekeruhan, tetapi harus ditentukan melalui percobaan pengolahan. Tidak setiap kekeruhan yang tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tinggi. Jika kekeruhan dalam air lebih dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar maka kebutuhan akan koagulan hanya sedikit, sedangkan kekeruhan air yang dominan disebabkan oleh koloid akan membutuhkan koagulan yang banyak.

Koagulan dapat berupa garam-garam logam (anorganik) atau polimer (organik). Polimer adalah senyawa-senyawa organik sintetis yang disusun dari rantai panjang molekul-molekul yang lebih kecil. Koagulan polimer ada yang kationik (bermuatan positif), anionik (bermuatan negatif), atau nonionik (bermuatan netral). Sedangkan koagulan anorganik mencakup bahan-bahan kimia umum berbasis aluminium atau besi. Ketika ditambahkan ke dalam contoh air, koagulan anorganik akan mengurangi alkalinitasnya sehingga pH air akan turun. Koagulan organik pada umumnya tidak mempengaruhi alkalinitas dan pH air. Koagulan anorganik akan meningkatkan konsentrasi padatan terlarut pada air yang diolah (Gebbie 2005).

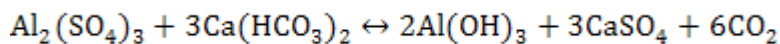
Beberapa jenis koagulan yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah di antaranya:

- Aluminium Sulphate (Alum)

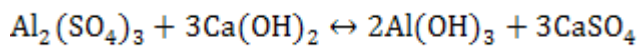
Alum merupakan salah satu koagulan yang paling lama dikenal dan paling luas digunakan. Alum dapat dibeli dalam bentuk likuid dengan konsentrasi 8,3% atau dalam bentuk kering (bisa berupa balok, granula, atau bubuk) dengan konsentrasi 17%. Alum padat akan langsung larut dalam air tetapi larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, besi, dan beton sehingga tangki-tangki dari bahan-bahan tersebut membutuhkan lapisan pelindung. Rumus kimia alum adalah  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  tetapi alum yang disuplai secara komersial kemungkinan hanya memiliki 14  $\text{H}_2\text{O}$ .

Ketika ditambahkan ke dalam air, alum bereaksi dengan air dan menghasilkan ion-ion bermuatan positif. Ion-ion dapat bermuatan +4 tetapi secara tipikal bermuatan +2 (bivalen). Ion-ion bivalen 30-60 kali lebih efektif dalam menetralkan muatan-muatan partikel dibanding ion-ion yang bermuatan +1 (monovalen).

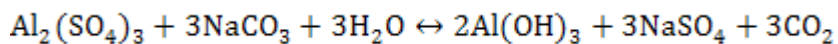
Pembentukan flok aluminium hidroksida merupakan hasil dari reaksi antara koagulan yang bersifat asam dan alkalinitas alami air (biasanya mengandung kalsium bikarbonat).



Jika air kurang memiliki kapasitas alkalinitas (*buffering capacity*), basa tambahan seperti *hydrated lime*, *sodium hidroksida* (soda kaustik) atau sodium karbonat harus ditambahkan.



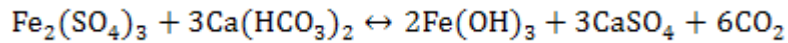
Dengan penambahan sodium karbonat:



1 mg/L alum bereaksi dengan 5,3 mg/L alkalinitas ( $\text{CaCO}_3$ ). Jadi jika tidak ada basa yang ditambahkan, alkalinitas akan turun dan terjadi penurunan pH. Flok aluminium hidroksida tidak dapat larut pada rentang pH yang relatif sempit, dan akan bervariasi tergantung air yang diolah. Oleh karenanya, kontrol pH menjadi penting dalam koagulasi, tidak hanya untuk menyisihkan kekeruhan dan warna, tetapi juga untuk menjaga residu terlarut tetap berada dalam jumlah minimum untuk membantu sedimentasi. Nilai pH optimum koagulasi sebaiknya dijaga dengan menambahkan asam seperti asam sulfat, tidak dengan menambahkan koagulan yang berlebih. pH optimum untuk koagulasi menggunakan alum, sangat tergantung pada karakteristik air yang diolah, biasanya berada dalam rentang 5-8.

- Ferric sulphate

*Ferric sulphate* tersedia dalam bentuk granula atau bubuk yang berwarna merah kecoklatan. Rumus kimianya adalah  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Koagulan ini sedikit bersifat higroskopik tetapi sulit untuk larut. Larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, beton, dan hampir semua besi-besian. Seperti reaksi alum, flok *ferric hydroxide* merupakan hasil dari reaksi antara koagulan yang asam dan alkalinitas alami dalam air.



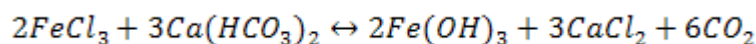
Reaksi-reaksi dengan penambahan basa analog dengan reaksi yang terjadi jika menggunakan alum.

- Ferrous sulphate

*Ferrous sulphate* disebut juga *copperas* atau *iron sulphate* atau gula besi, merupakan garam termurah yang dapat digunakan untuk koagulasi. Ferrous sulphate bersifat positif sehingga dapat melemahkan gaya tolak-menolak antar partikel koloid yang bermuatan negatif. Ketika elektrolit diserap partikel koloid dalam air, ferrous sulphate dapat menurunkan bahkan menghilangkan kekokohan partikel koloid dan menetralkan muatannya. Penetralkan muatan partikel oleh koagulan hanya mungkin terjadi jika muatan partikel mempunyai konsentrasi yang cukup untuk mengadakan gaya tarik-menarik antar partikel koloid (Bhaskar Sen Gupta 2005 dalam Risdianto 2007).

- Ferric chloride

*Ferric chloride* tersedia dalam bentuk yang tidak mengandung H<sub>2</sub>O berupa bubuk hijau-hitam dengan rumus kimia FeCl<sub>3</sub>, dan dalam bentuk likuid dengan rumus kimia FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O berupa sirup berwarna coklat gelap. Bentuk padatnya bersifat higroskopik dan tidak sesuai untuk pengumpanan kering. Larutannya bersifat sangat korosif dan menyerang hampir semua logam dan beton. Reaksi koagulasinya:



Koagulan besi bervalensi 3 (ferric) bekerja pada rentang pH yang lebar dan sering kali dapat digunakan pada batas rentang yang lebih tinggi, misalnya dari 7,5-8 (Gebbie 2005).

- Polyelectrolyte

Larutan dari *polyelectrolyte* bersifat sangat viskos dan sering kali dibutuhkan hanya dalam dosis yang sangat kecil. Oleh karenanya turbulensi yang cukup harus tersedia pada titik pengumpanan untuk memastikan pencampuran yang cepat dan menyeluruh. Larutan *polyelectrolyte* yang encer lebih mudah terdispersi ke dalam aliran dibandingkan larutan terkonsentrasi.

*Polyelectrolyte* organik alami seperti sodium alginate dan sebagian produk pati yang larut dalam air telah lama digunakan dalam pengolahan air. Saat ini tersedia secara luas *polyelectrolyte* sintetis yang lebih baru. Koagulan bermerk yang berupa larutan *polyelectrolyte* sintetis dan garam-garam logam juga tersedia di pasaran.

- Polyaluminium Chloride (PAC)

PAC memiliki rumus kimia umum  $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$  banyak digunakan karena memiliki rentang pH yang lebar sesuai nilai  $n$  dan  $m$  pada rumus kimianya. PAC yang paling umum dalam pengolahan air adalah  $Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$ . Senyawa-senyawa modifikasi PAC di antaranya *polyaluminium hydroxidechloride silicate* (PACS) dan *polyaluminium hydroxidechloride silicate sulfate* (PASS). PAC digunakan untuk mengurangi kebutuhan akan penyesuaian pH untuk pengolahan, dan digunakan jika pH badan air penerima lebih tinggi dari 7,5.

PAC mengalami hidrolisis lebih mudah dibandingkan alum, mengeluarkan polihidroksida yang memiliki rantai molekul panjang dan muatan listrik besar dari larutan sehingga membantu memaksimalkan gaya fisis dalam proses flokulasi. Pada air yang memiliki kekeruhan sedang sampai tinggi, PAC memberikan hasil koagulasi yang lebih baik dibandingkan alum. Pembentukan flok dengan PAC termasuk cepat dan lumpur yang muncul lebih padat dengan volume yang lebih kecil dibandingkan dengan alum. Oleh karenanya, PAC merupakan pengganti alum padat yang efektif dan berguna karena dapat menghasilkan koagulasi air dengan kekeruhan yang berbeda dengan cepat, menggenerasi lumpur lebih sedikit, dan meninggalkan lebih sedikit residu aluminium pada air yang diolah (Malhotra 1994).

Menurut Echanpin (2005) dalam Yuliati (2006), PAC merupakan koagulan anorganik yang tersusun dari polimer makromolekul dengan kelebihan seperti memiliki tingkat adsorpsi yang kuat, mempunyai kekuatan lekat, tingkat pembentukan flok-flok tinggi walau dengan dosis kecil, memiliki tingkat sedimentasi yang cepat, cakupan penggunaannya luas, merupakan agen penjernih air yang memiliki efisiensi tinggi, cepat dalam proses, aman, dan konsumsinya

cukup pada konsentrasi rendah. Menurut Eaglebrook Inc (1999) dalam Yuliati (2006), keuntungan koagulan PAC yaitu sangat baik untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, memadatkan dan menghentikan penguraian flok, membutuhkan kebasaaan rendah untuk hidrolisis, sedikit berpengaruh pada pH, menurunkan atau menghilangkan kebutuhan penggunaan polimer, serta mengurangi dosis koagulan sebanyak 30-70%.

Dalam reaksi hidrolisis PAC, 3 molekul  $H^+$  akan terbentuk. Hidrolisis tersebut terjadi pada koagulasi pada pH 5,8-7,5. Dalam rentang pH ini, warna dan zat koloid disisihkan melalui adsorpsi ke dalam hidroksida logam hasil hidrolisis yang terbentuk (Gebbie 2005).

Agar proses destabilisasi efektif, molekul polimer harus mengandung kelompok kimia yang dapat berinteraksi dengan permukaan partikel koloid. Pada saat terjadi kontak antara molekul polimer dengan partikel koloid, beberapa dari kelompok kimia pada polimer terserap ke permukaan partikel, meninggalkan molekul polimer yang tersisa pada larutan. Apabila terjadi kontak antar molekul polimer yang tersisa dengan partikel ke dua yang memiliki permukaan penyerapan yang kosong, maka akan terjadi ikatan. Partikel polimer kompleks akan terbentuk dengan polimer sebagai penghubung. Jika partikel ke dua tidak dapat berikatan, maka seiring dengan waktu bagian polimer yang tersisa akan terserap pada permukaan partikel yang lain secara perlahan sehingga polimer tidak dapat lagi berfungsi sebagai penghubung (Yuliati 2006).

Dosis polimer yang berlebih akan mengakibatkan koloid menjadi stabil kembali karena tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung antar partikel. Pada kondisi tertentu, suatu sistem yang telah didestabilisasi dan membentuk agregat dapat menjadi stabil kembali pada agitasi yang berlebihan dan mengakibatkan putusya polimer permukaan partikel dan proses berulang antara polimer tersisa dengan permukaan partikel (Weber 1972 dalam Yuliati 2006). Menurut Gebbie (2005), overdosis polimer kation akan menyebabkan restabilisasi, yaitu ketika muatan keseluruhan permukaan partikel-partikel yang ada berubah dari negatif menjadi positif dengan kekeruhan setelah pengolahan justru meningkat.

Semua koagulasi menyisihkan zat koloid dan zat berwarna dari air dalam proses dengan menggenerasi lumpur dalam bentuk hidroksida logam. Setiap koagulan memiliki rentang kondisi pH optimum yang sempit. Satu-satunya cara untuk menentukan koagulan mana yang terbaik pada air tertentu adalah dengan melakukan percobaan jar-test di laboratorium (Gebbie 2005).

PAC memiliki kelebihan dibandingkan alum ketika mengkoagulasi air yang sulit diolah. Larutan *ferric sulphate* dan *chloride* bersifat agresif dan merupakan likuid asam yang korosif, dengan *chloride* lebih tajam dari *sulphate*. *Ferric sulphate* dan *chloride* bereaksi sebagai koagulan dengan cara yang sama dengan alum tetapi membentuk flok *ferric hydroxide* jika ada alkalinitas bikarbonat. Pengolahan air yang menggunakan koagulan besi membutuhkan kontrol proses yang ketat. Garam-garam aluminium atau besi paling banyak digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air karena efektif, relatif murah, mudah didapatkan, mudah ditangani, mudah disimpan, dan mudah diaplikasikan.

Koagulan berbasis besi cenderung lebih mahal dibandingkan alum pada basis dosis ekuivalen per kilogramnya. Koagulan-koagulan ini juga mengambil lebih banyak alkalinitas dibandingkan alum sehingga cenderung menurunkan pH air yang diolah lebih besar. Sebagian berpendapat bahwa koagulan berbasis besi menghasilkan flok dengan bentuk yang membuatnya lebih sulit untuk mengendap. Koagulan ini sangat korosif dan ketika terjadi tumpahan atau kebocoran akan meninggalkan noda karat yang berwarna merah darah (Gebbie 2005).

Untuk koagulan tertentu seperti alum, pH akan menentukan spesies hidrolisis mana yang mendominasi. Nilai pH yang lebih rendah cenderung menyukai spesies-spesies bermuatan positif sehingga dapat bereaksi dengan koloid dan partikulat yang bermuatan negatif untuk membentuk flok yang tidak larut.

Waktu penambahan bahan-bahan kimiawi pengkondisi dan koagulan terbukti sangat penting dan biasanya sangat menentukan keefektifan performa unit sedimentasi, filtrasi, dan kualitas air akhir. Pemisahan titik pengumpanan yang tepat untuk tiap-tiap bahan kimiawi yang berbeda dan pengawasan waktu penundaan yang tepat antara penambahan-penambahan bahan kimia juga dapat menjadi sangat penting untuk mendapatkan proses koagulasi yang optimum. Urutan penambahan bahan kimiawi tidak terlalu berpengaruh terhadap kualitas air yang telah diolah. Hasil yang sama atau sedikit lebih baik dapat didapatkan dengan menambahkan bahan pengatur pH terlebih dahulu.

Menurut Davis dan Cornwell (1991) dalam Yuliati (2006), ada tiga hal penting yang harus diperhatikan ketika memilih suatu koagulan, yaitu:

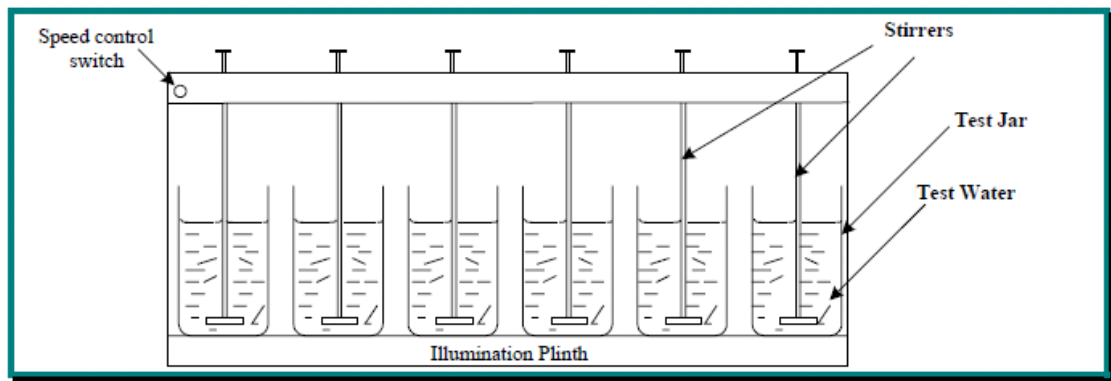
- kation bervalensi tiga (trivalen) merupakan kation yang paling efektif untuk menetralkan muatan listrik koloid,
- tidak beracun,
- tidak larut dalam kisaran pH netral (Koagulan yang ditambahkan harus terendapkan dari larutan sehingga ion-ion tersebut tidak tertinggal dalam air)

Dosis koagulan yang berlebihan maupun yang kurang dapat menurunkan efisiensi penyisihan padatan. Kondisi tersebut dapat dikoreksi dengan percobaan Jar-Test dan memverifikasi kinerja proses setelah melakukan perubahan dalam operasi proses koagulasi. Hal serupa juga kemungkinan perlu dilakukan jika terjadi perubahan kualitas atau karakteristik air yang akan diolah.

Residu alkalinitas dalam air berperan untuk mencegah perubahan pH dan membantu presipitasi koagulan. Alkalinitas biasanya tidak menjadi masalah kecuali jika alkalinitas air yang hendak diolah terlalu rendah. Dalam hal ini, alkalinitas dapat ditingkatkan dengan menambahkan lime, soda kaustik, atau sodium karbonat.

## **2.5 Koagulasi Optimum**

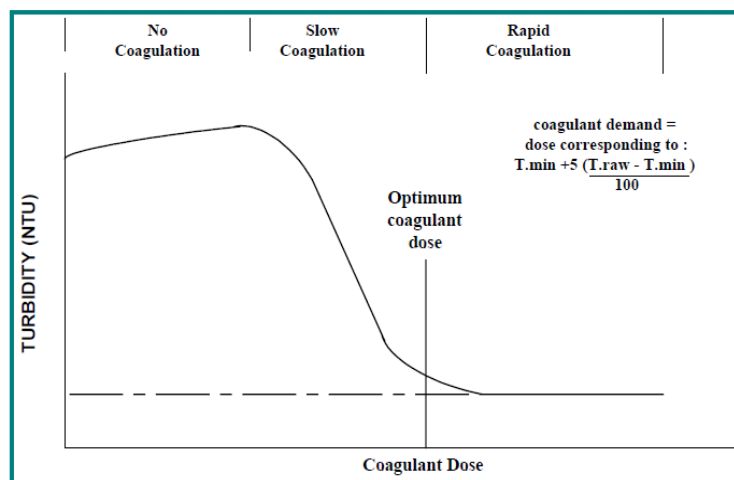
Penentuan jenis koagulan dan perkiraan kasar dosis yang dibutuhkan untuk pengendapan padatan air limbah ekstraksi jamu yang efektif dilakukan dengan melakukan percobaan awal dengan Jar-Test. Hasil percobaan perlu untuk diinterpretasikan dengan hati-hati dan setelahnya perlu dilakukan optimisasi kondisi proses pada jenis koagulan yang dipilih sebelum digunakan untuk modifikasi dan pengontrolan instalasi pengolahan. Hasil percobaan awal belum dapat digunakan untuk memprediksi biaya operasi tambahan pada *circular clarifier*.



**Gambar 2.1** Alat Jar-Test

Sumber: EPA, 2002

Alat yang digunakan untuk Jar-Test dapat dilihat pada Gambar 1. Pada percobaan pendahuluan, pH contoh air tidak dikondisikan agar didapatkan gambaran hasil yang dapat diperoleh dengan penambahan zat kimia seminimal mungkin. Pengujian dilakukan dengan dosis koagulan yang divariasikan pada kondisi pH contoh air limbah apa adanya. Dosis terbaik ditentukan berdasarkan penyisihan parameter kekeruhan. Contoh kurva koagulan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Contoh Kurva Koagulasi

Sumber: EPA, 2002

Dosis Koagulan percobaan didekati dari studi pustaka percobaan koagulasi-flokulasi yang pernah diujicobakan pada contoh air limbah jamu. Rentang dosis beberapa koagulan yang biasa digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1.



**Tabel 2.1 Penerapan Dosis Koagulan**

Sumber: Risdianto 2007

Proses Kimia	Rentang Dosis, mg/L	pH	Keterangan
Soda ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	150-500	9,0-11,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P. Air limbah dengan kebiasaan rendah dan tinggi kandungan Pnya. Reaksi dasar: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_3$
Alumunium Sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	75-250	4,5-7,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P. Air limbah dengan kebiasaan tinggi dan P rendah-stabil. Reaksi dasar: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$
Ferri Chloride $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	35-150	4,0-7,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$
Ferro Sulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	70-200	4,0-7,0	Air limbah dengan kebiasaan tinggi dan P rendah-stabil Sisa air besi ( <i>Leaching</i> ) di efluen dapat dikontrol, dan limbah besi diizinkan.
Polyalumunium Chloride $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{22}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{Cl}_{15}$	75-250	4,5-7,0	

Jika hendak dilakukan optimisasi kondisi proses setelah percobaan awal, kondisi pH optimum dapat dicari dengan memvariasikan pH contoh air. Jumlah asam atau basa, yang sebelumnya ditentukan dengan titrasi, ditambahkan ke dalam contoh air yang belum diolah pada rentang antara 5,5-8,5, kemudian dilakukan pengujian koagulasi. Plot antara warna dan kekeruhan akhir terhadap pH digunakan untuk menentukan pH koagulasi optimum.

## 2.6 Kesesuaian Pemilihan Percobaan Koagulasi-Flokulasi

Ada dua pertimbangan dalam memilih penelitian koagulasi-flokulasi:

1. Saat ini kualitas *effluent* yang keluar dari IPAL pabrik jamu PT X belum sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah sehingga dibutuhkan perbaikan IPAL. Perbaikan IPAL merupakan proses yang

membutuhkan waktu tidak singkat karena selain dibutuhkan pemeriksaan karakteristik kualitas dan kuantitas air limbah yang digenerasi, dibutuhkan evaluasi dan analisa permasalahan pada IPAL yang sudah ada, pemilihan alternatif perbaikan yang paling layak, perancangan detil perbaikan, pengadaan teknologi dan konstruksi. Perusahaan pernah mencoba menggunakan koagulan berupa soda abu dan hasil yang didapatkan cukup memuaskan. Namun masih dibutuhkan penelitian yang lebih rinci untuk menentukan jenis, dosis, dan urutan penambahan koagulan yang optimum. Sebagai solusi jangka pendek, proses koagulasi dapat menjadi alternatif terbaik untuk memperoleh hasil yang diharapkan dalam waktu singkat.

2. Dari sedikit gambaran yang telah didapatkan, salah satu permasalahan dalam unit kolam anaerobik dan aerobik adalah naiknya busa ke permukaan. Hal ini dapat disebabkan oleh terlalu tingginya padatan tersuspensi yang masuk ke dalam kolam-kolam tersebut. Selain itu permasalahan juga mungkin terjadi karena pH air limbah yang terlalu rendah (sekitar 5,5) sehingga mikroba mati. Tingginya kandungan padatan dapat ditekan dengan menambahkan prasedimentasi sebagai pengolahan primer. Jika kombinasi padatan yang terkandung dalam air limbah tidak memungkinkan untuk mengendap secara gravitasi dalam waktu yang dapat diterima, maka dibutuhkan koagulan dan/atau bahan bantu koagulan (*coagulant aid*) untuk mempercepat proses penyisihan padatan. pH air limbah yang terlalu rendah dapat diatasi dengan proses netralisasi.

Jadi apakah koagulasi-flokulasi merupakan solusi yang tepat untuk memperbaiki IPAL pabrik jamu PT X masih belum bisa dijawab karena pertama-tama dibutuhkan studi dan pemeriksaan karakteristik air limbah yang digenerasi pabrik terlebih dahulu (*influent* IPAL). Selain itu, permasalahan fisik dalam unit-unit IPAL tersebut masih harus diobservasi dan dianalisis agar dapat ditentukan proses mana yang paling tepat untuk memperbaiki IPAL pabrik jamu PT X.

### BAB III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Percobaan

Dua jenis koagulan dipilih, selain yang pernah digunakan oleh IPAL Pabrik Jamu PT X yaitu tawas/ alum (aluminium sulphate). Dengan mempertimbangkan harga, kemudahan penanganan dan penyimpanan, dan ketersediaan di pasar, ferrous sulphate dan Polyaluminium Chloride dipilih sebagai koagulan. Percobaan 3 dosis yang berbeda untuk masing-masing koagulan dilakukan dengan percobaan koagulasi-flokulasi menggunakan alat Jar-Test. Sejumlah volume air limbah ditambahkan dengan koagulan sesuai dosis yang telah ditentukan kemudian dilakukan pengadukan cepat (*rapid mixing*) selama 1 menit dengan tujuan untuk mencampur koagulan dengan air sehingga terjadi netralisasi muatan koloid oleh koagulan (proses koagulasi). Selanjutnya dilakukan pengadukan lambat (*slow mixing*) agar partikel-partikel tersebut bergabung satu sama lain membentuk flok yang lebih besar (flokulasi). Kekeruhan contoh air dijadikan sebagai indikator penyisihan padatan yang terjadi. Variasi dosis dari masing-masing koagulan per 1 liter contoh air limbah dapat dilihat pada Tabel.

**Tabel 3.1** Variasi Dosis Koagulan yang Diujicobakan

Koagulan	Variasi		
	1	2	3
FeSO <sub>4</sub>	70 mg	135 mg	200 mg
PAC	75 mg	163 mg	250 mg

#### 3.2 Penelitian Utama

Untuk 1 jenis koagulan, 3 gelas kimia masing-masing berisi 1 L contoh air limbah diletakkan pada Jar-Test dan ditambahkan koagulan masing-masing dengan dosis variasi 1, 2, dan 3. Pengadukan mula-mula dilakukan pada kecepatan kurang lebih 100 rpm selama 1 menit, dilanjutkan dengan kecepatan kurang lebih 50 rpm selama 10 menit, kemudian dibiarkan selama beberapa saat tanpa pengadukan untuk membiarkan flok mengendap. Pengamatan meliputi waktu pengendapan, banyaknya endapan yang terbentuk, dan warna contoh air setelah padatan terendapkan. Hasil yang diperoleh kemudian dipisahkan dari endapan untuk kemudian diperiksa warna

kasat mata, kekeruhan, pH, dan daya hantar listriknya untuk dibandingkan dengan karakteristik air limbah sebelum percobaan.

Alat yang dibutuhkan:

- pengaduk jamak dengan kecepatan kontinyu yang bervariasi dari 20-150 rpm,
- jar/ gelas-gelas kimia yang semuanya memiliki ukuran dan bentuk yang sama (1000-1500 mL),
- neraca analitis.

Langkah-langkah pengerjaan percobaan koagulasi-flokulasi:

- a. mengukur dan memasukkan 1 liter contoh air yang sama ke dalam masing-masing gelas kimia berkapasitas 1 liter. Gelas kimia ditempatkan sedemikian rupa sehingga tangkai pengaduk tidak berada di tengah-tengah jar tetapi setidaknya berjarak 6,4 mm dari dinding jar. Suhu contoh air diperiksa sebelum pengujian dimulai;
- b. menimbang dan menyiapkan variasi dosis untuk masing-masing koagulan;
- c. menyalakan pengaduk jamak untuk beroperasi pada kecepatan kurang lebih 100 rpm (pengadukan cepat) kemudian menambahkan dosis koagulan tertentu yang telah disiapkan pada masing-masing gelas kimia. Pengadukan cepat dilakukan selama 1 menit setelah penambahan koagulan;
- d. mengurangi kecepatan pengadukan menjadi kurang lebih 50-60 rpm untuk menjaga partikel-partikel flok yang terbentuk agar tidak hancur selama 10 menit (pengadukan lambat);
- e. setelah pengadukan lambat, pengaduk dikeluarkan, kemudian waktu dan pengendapan partikel-partikel flok diamati;
- f. setelah 10-15 menit pengendapan, tinggi endapan pada dasar gelas kimia, warna kasat mata, dan suhu contoh air dicatat. Sebagian volume cairan supernatan dari gelas kimia pada titik setengah tinggi volume air dari dasar jar diambil untuk kemudian diperiksa kekeruhan, pH, dan daya hantar listriknya;
- g. Langkah-langkah tersebut diulangi untuk jenis koagulan yang ke dua.

Hasil percobaan kemudian dituliskan pada Form Data Percobaan seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

Form Data Percobaan

Nomor Jar	0	1	2	3	4	5	6
FeSO <sub>4</sub> (g/L)							
PAC (g/L)							
Kecepatan Pengadukan Cepat (rpm)							
Lama Pengadukan Cepat (menit)							
Kecepatan Pengadukan Lambat (rpm)							
Lama Pengadukan Lambat (menit)							
Suhu (°C)							
Lama Pengendapan (menit)							
pH							
DHL (μS)							
Kekeruhan (NTU)							
Penyisihan Kekeruhan (%)							

Jar ke 0 adalah kondisi contoh air awal, yaitu tanpa perlakuan koagulasi-flokulasi, yang digunakan sebagai pembanding.

### 3.3 Prosedur Analisis

Alat yang digunakan untuk memeriksa kualitas contoh air sebelum dan setelah percobaan dapat dilihat pada Tabel.

**Tabel 3.2** Pengukuran Kualitas Contoh Air

Parameter	Alat	Satuan
Kekeruhan	Turbidimeter	NTU
pH	pH-meter	-
DHL	Conductivity-meter	μS

Analisis dosis optimum masing-masing koagulan dilakukan dengan membuat grafik antara dosis koagulan (sumbu x) dengan kekeruhan (sumbu y).

Setelah data dosis optimum untuk masing-masing koagulan diketahui, dilakukan perhitungan biaya untuk membandingkan ketiga jenis koagulan dan menentukan koagulan yang paling ekonomis untuk jumlah air limbah yang sama.

#### BAB IV. JADWAL PELAKSANAAN

	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober
Studi literatur								
Survei pabrik jamu								
Karakterisasi limbah awal								
Percobaan pendahuluan								
Percobaan utama								
Penyusunan laporan								
Seminar								

## BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembuatan jamu yang terjadi di Pabrik Jamu PT.X, terdiri dari:

- Penyiapan bahan baku: Dalam proses ini terjadi pemeriksaan organoleptik dan laboratorium; Pemberian label; Pencatatan; Pengeluaran FIFO (First In First Out).
- Pengolahan bahan bakal jamu: Bahan baku akan mengalami Sortasi; Pencucian/ vaporasi/ spray/ penggorengan;
- Pengeringan; Peracikan (penimbangan formula); Pengecilan ukuran (crusher). Pengolahan: Bahan baku akan digiling, diayak diaduk untuk mendapatkan homogenitas yang baik kemudian masuk ke bagian Pemeriksaan quality control.
- Pengemasan terdiri dari Pengemasan primer; Pengemasan sekunder; Pemberian label dan pengemasan kebenaran produk; Pendistribusian ke gudang Finishing Goods.

Limbah cair yang dihasilkan ditampung dalam kolam ekualisasi, dalam kolam tersebut terdapat campuran air limbah nabati dan sisa proses ekstraksi. Berikut adalah hasil analisis limbah cair yang dihasilkan di Pabrik Jamu PT X pada tangki ekualisasi dan saluran keluaran proses ekstraksi. Limbah yang diambil dari tangki ekualisasi merupakan campuran limbah nabati dan limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi sedangkan limbah yang diambil dari saluran keluaran proses ekstraksi hanya terdiri dari sisa proses ekstraksi saja. Pada tabel 5.1 menunjukkan BOD<sub>5</sub> dan COD dari proses ekstraksi jauh lebih tinggi daripada yang terdapat pada tangki ekualisasi yaitu BOD<sub>5</sub> 66.500:1480 mg/L dan COD 74.000:2143 mg/L. Demikian pula *Total Suspended Solids* dari limbah cair adalah 244:189 mg/L. Sedangkan kandungan fenol pada limbah ekstraksi jauh lebih sedikit yaitu 0.378 mg/L daripada pada tangki ekualisasi yaitu 3.55 mg/L.



**Tabel 5.1** Perbandingan Kualitas Air Limbah Pabrik Jamu PT X pada tangki ekualisasi dan pipa keluaran proses ekstraksi dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Jamu

	<b>Limbah nabati dan ekstraksi (pada tangki ekualisasi)</b>	<b>Limbah ekstraksi (pipa keluaran proses ekstraksi)</b>	<b>Baku Mutu*)</b>	<b>Satuan</b>
TSS	189	244	60	mg/L
Fenol	3,55	0,378	0,2	mg/L
BOD <sub>5</sub>	1.480	66.500	60	mg/L
COD	2.143	74.000	120	mg/L
BOD <sub>5</sub> /COD	0,69	0,90	*	-
pH	5,32	6,75	6 s/d 9	-

- Kualitas air diperiksa oleh Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung pada tanggal 22 Februari 2013.
- \*) Lampiran I Perda Jateng No. 5 Tahun 2012

Karena kualitas *effluent* IPAL yang belum memenuhi baku mutu, pabrik telah mencoba penambahan tawas yang dilakukan pada tahap akhir pengolahan, yaitu setelah keluar dari unit saringan pasir. Menurut mereka, penggunaan koagulan berupa tawas telah berhasil menurunkan kadar fenol dan BOD sebesar 80-90% dan menetralkan pH, namun kadar padatan tersuspensi dan COD belum berhasil diturunkan.

*Effluent* yang keluar dari IPAL pabrik sebesar 60-85 m<sup>3</sup>/hari (campuran air limbah proses ekstraksi dan nabati). Dengan harga Rp. 10.000,00/kg, penggunaan tawas pada tahap akhir pengolahan tidak layak untuk dilanjutkan. Dengan rencana perusahaan untuk menambahkan unit *sludge drying bed* pada IPAL untuk menangani padatan yang terpisahkan, peningkatan performa *circular clarifier* dengan koagulasi-flokulasi dapat menjadi salah satu solusi yang efektif dalam rangkaian perbaikan IPAL pabrik jamu PT X.

Pengolahan air limbah Pabrik Jamu PT X berupa pengolahan biologis lumpur aktif yang terdiri dari *bar screen*, dilanjutkan ke kolam ekualisasi, kolam anaerob, kolam aerob, kolam pengendapan, dan saringan pasir. Saat ini kualitas air limbah yang telah melewati instalasi pengolahan belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan sehingga dibutuhkan studi untuk mengevaluasi dan memperbaiki sistem yang ada.

Salah satu unit pengolahan yang belum berjalan sesuai harapan adalah *circular clarifier*. Hal ini tercermin dari data perbandingan kualitas air limbah Pabrik Jamu PT X seperti yang tercantum pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Perbandingan Kualitas Air Limbah Pabrik Jamu PT X pada tangki ekualisasi dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Jamu

Parameter	Tangki ekualisasi (sebelum pengolahan)	Sesudah Pengolahan	Baku Mutu	Satuan
TSS	189	772	60	mg/L
Fenol	3,55	0,865	0,2	mg/L
BOD <sub>5</sub>	1480	390	60	mg/L
COD	2143	800	120	mg/L
BOD <sub>5</sub> /COD	0,69	0,4875	*	-
pH	5,32	6,36	6-9	-

Keterangan:

- Tangki ekualisasi menampung limbah campuran dari air limbah nabati dan limbah proses ekstraksi
- \*tidak tercantum dalam peraturan
- Kualitas air diperiksa oleh Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung pada tanggal 22 Februari 2013.

Salah satu pilihan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan dan mempersingkat waktu detensi *circular clarifier* adalah dengan menambahkan bahan kimia guna mendorong terjadinya proses koagulasi-flokulasi yang optimal. Berikut adalah kondisi yang menggambarkan *circular clarifier* yang ada (Gb. 5.1):



**Gambar 5.1.** *Circular clarifier* IPAL Pabrik Jamu PT X

Pada gambar *circular clarifier* yang diambil ketika survey dan pengambilan contoh air di lokasi IPAL pabrik jamu PT X, terlihat masih banyak sekali padatan yang mengapung dan melayang. Padatan tersuspensi pada contoh air keluaran unit tersebut bahkan seringkali lebih tinggi dibandingkan padatan tersuspensi yang terkandung pada contoh air limbah yang baru digenerasi pada proses produksi. Pengolahan biologis lumpur aktif aerobik memang akan menghasilkan padatan yang perlu dipisahkan. Namun tingginya kandungan padatan tersuspensi setelah melewati proses pengendapan mengindikasikan dibutuhkan peningkatan performa penyisihan pada *circular clarifier* yang sudah ada.

Limbah dari tangki koagulasi yang merupakan campuran limbah nabati dan limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi, dilakukan penambahan koagulan  $\text{FeSO}_4$  dan PAC. Percobaan dilakukan dengan kondisi sebagai berikut:

**Tabel 5.3** Kondisi percobaan koagulasi

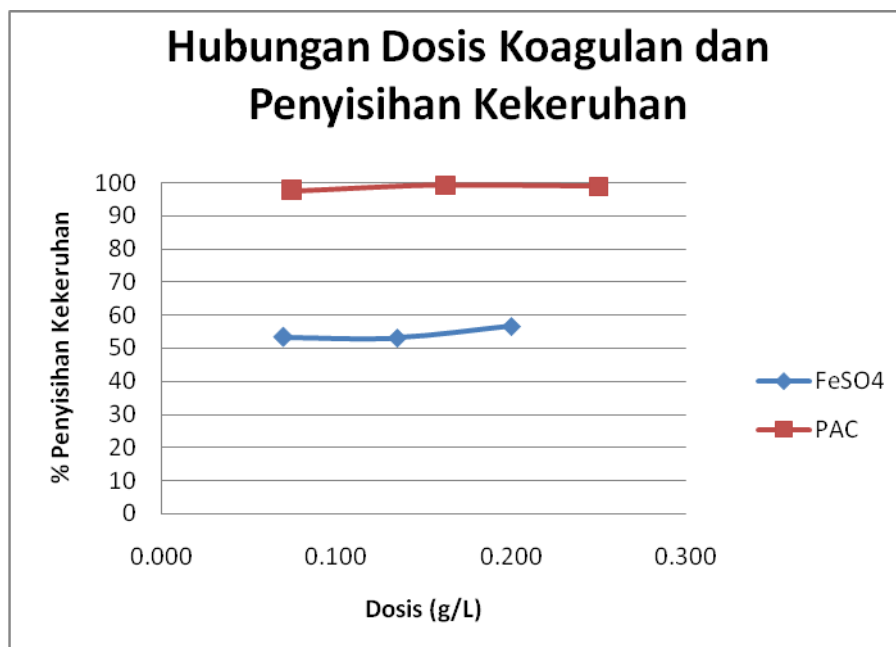
Nomor Jar	0	1	2	3	4	5	6
FeSO <sub>4</sub> (g/L)	-	0,070	0,135	0,200	-	-	-
PAC (g/L)	-	-	-	-	0,075	0,163	0,250
Kecepatan Pengadukan Cepat (rpm)	-	± 100					
Lama Pengadukan Cepat (menit)	-	1					
Kecepatan Pengadukan Lambat (rpm)	-	± 50					
Lama Pengadukan Lambat (menit)	-	10					
Suhu (°C)	25	25	25	25	25	25	25
Lama Pengendapan (menit)	-	> 10	> 10	> 10	< 5	< 5	< 5
pH	6,3	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,3
DHL (µS)	648	706	717	720	728	744	751
Kekeruhan (NTU)	916,00	427,00	429,00	397,00	21,60	6,95	10,15
Penyisihan Kekeruhan (%)	-	53,38	53,17	56,66	97,64	99,24	98,89

Proses koagulasi dilakukan 3 tahap yaitu pertama pengadukan cepat selama 1 menit dengan kecepatan 100 rpm, kedua pengadukan lambat selama 10 menit dengan kecepatan 50 rpm dan ketiga dengan pengendapan selama 5 – 10 menit. Suhu selama proses dijaga 25°C. Proses pengadukan cepat bertujuan untuk mendispersikan koagulan dengan air limbah agar dapat bercampur dengan sempurna. Sedangkan pengadukan lambat ditujukan untuk membantu pembentukan flok-flok dengan ukuran yang lebih besar. Hingga saat pengendapan dapat mengendap secara sempurna. Parameter kualitas air yang diperiksa dan dibandingkan yaitu parameter pH, daya hantar listrik, dan kekeruhan. Parameter COD hasil koagulasi terbaik juga diperiksa untuk mencari tahu potensi perbaikan kualitas air limbah setelah penyaringan.

Limbah cair dari kolam ekualisasi memiliki pH 6,3, pH ini masih berada dalam rentang pH optimum dalam koagulasi menggunakan garam-garam besi, yaitu 5-8,5. Koagulan anorganik menurunkan alkalinitas pH sehingga akan menurunkan nilai pH air. Sementara koagulan organik umumnya tidak mempengaruhi alkalinitas air baku dan pH. pH sebelum koagulasi adalah 6,3 dan setelah koagulasi dengan FeSO<sub>4</sub>, pH contoh air limbah

menjadi 6,1. Sedangkan pada penggunaan koagulan PAC nilai pH cenderung tetap yaitu berkisar antara 6,2 - 6,3.

Koagulan digunakan untuk membantu dalam proses koagulasi dan flokulasi dengan mempercepat proses flokulasi atau memperkuat flok untuk membuatnya lebih mudah untuk mengendap. Analisa proses diutamakan untuk mengetahui pengaruh dosis koagulan terhadap penurunan kadar kekeruhan air karena kekeruhan memiliki pengaruh terbesar dibandingkan parameter lainnya. Koagulan akan menjadi inti dari flok yang terbentuk dan akan meningkatkan densitas flok, dan mempercepat proses sedimentasi. Dosis koagulan yang berlebihan juga dapat mengakibatkan restabilisasi, sehingga tingkat kekeruhan dapat meningkat.



**Gambar 5. 2.** Hubungan Dosis Koagulan dan Penyisihan Kekeruhan

Semakin tinggi dosis PAC tidak menjamin semakin baiknya penyisihan kekeruhan. Kekeruhan contoh air setelah dikoagulasi dengan PAC sebanyak 0,164 g/L adalah 6,95 NTU, lebih baik dibandingkan kekeruhan contoh air setelah dikoagulasi dengan PAC sebanyak 0,25 g/L, yaitu 10,15 NTU. Pada Grafik Hubungan Dosis Koagulan dan Penyisihan Kekeruhan di atas, dapat dilihat bahwa penyisihan justru menurun pada dosis PAC terbesar. Hal ini kemungkinan diakibatkan karena muatan permukaan seluruh partikel koloid yang ada berubah dari negatif ke positif sehingga terjadi kestabilan kembali. Dalam hidrolisis PAC, tiga mol  $H^+$  terbentuk. Hidrolisis yang biasanya berlangsung pada pH air dosis dalam kisaran

5,8-7,5. Dalam hal ini pH, warna dan koloid dihilangkan oleh proses adsorpsi ke dalam produk hidrolisis hidroksida logam yang terbentuk. Koagulan anorganik akan meningkatkan total padatan terlarut (TDS) konsentrasi air yang diolah.

Daya hantar listrik contoh air setelah dikoagulasi dengan  $\text{FeSO}_4$  meningkat dari 648  $\mu\text{S}$  menjadi 720  $\mu\text{S}$  pada dosis  $\text{FeSO}_4$  terbaik dalam penyisihan kekeruhan. Sedangkan daya hantar listrik contoh air setelah dikoagulasi dengan PAC meningkat dari 648  $\mu\text{S}$  menjadi 744  $\mu\text{S}$ . Daya hantar listrik dapat digunakan untuk memperkirakan banyaknya padatan terlarut dalam suatu contoh air melalui hubungan:

$$\text{TDS (mg/L)} = (0,5 \text{ sampai } 0,75) \times \text{DHL } (\mu\text{S})$$

Hubungan tersebut menandakan bahwa banyaknya padatan terlarut berbanding lurus dengan daya hantar listrik dalam suatu contoh air yang diperiksa. Peningkatan daya hantar listrik pada hasil koagulasi menandakan adanya peningkatan padatan terlarut setelah proses.

**Tabel 5.4.** Persentase penyisihan kekeruhan

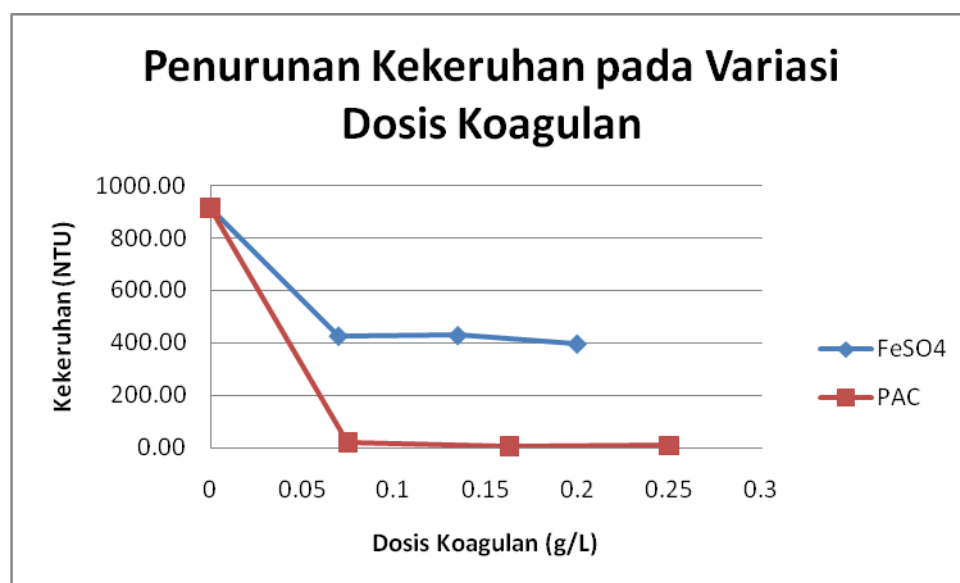
Sampel	Dosis	T	pH	DHL	Kekeruhan	Penyisihan Kekeruhan (%)
	(g/L)	( $^{\circ}\text{C}$ )		( $\mu\text{S}$ )	(NTU)	
Air awal	0	25	6.3	648	916.00	-
$\text{f}_{\text{FeSO}_4\text{I}}$	0.070	25	6.1	706	427.00	53.38
$\text{f}_{\text{FeSO}_4\text{II}}$	0.135	25	6.1	717	429.00	53.17
$\text{f}_{\text{FeSO}_4\text{III}}$	0.200	25	6.1	720	397.00	56.66
$\text{f}_{\text{PACI}}$	0.075	25	6.2	728	21.60	97.64
$\text{f}_{\text{PACII}}$	0.163	25	6.2	744	6.95	<b>99.24</b>
$\text{f}_{\text{PACIII}}$	0.250	25	6.3	751	10.15	98.89

Koagulan berbasis besi cenderung lebih mahal daripada alum pada ekuivalen per kg logam dasar tertutup. Mereka juga mengkonsumsi lebih alkalinitas daripada alum, dan karenanya cenderung menekan pH air dosis lebih dramatis. Pendapat juga berbeda mengenai apakah mereka menghasilkan pulen flok, yang lebih sulit untuk menyelesaikan. Koagulan berbasis besi sangat korosif dan menghasilkan noda sangat terlihat darah / karat berwarna bila ada tumpahan bahan kimia dan kebocoran.

Hasil koagulasi dengan  $\text{FeSO}_4$  menghasilkan air dengan pH 6,1, lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengolahan dengan PAC, yaitu 6,2. Hal tersebut dikarenakan koagulan berbasis besi mengkonsumsi lebih banyak alkalinitas dibandingkan koagulan berbasis alum. Waktu pengendapan padatan pada hasil koagulasi-flokulasi dengan koagulan

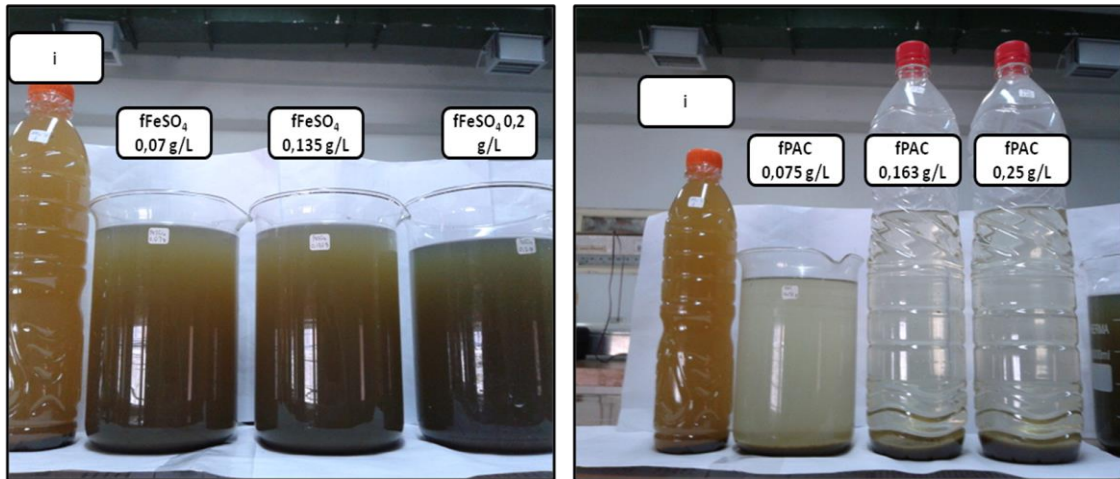
$\text{FeSO}_4$  lebih lama kemungkinan dikarenakan koagulan berbasis besi menghasilkan flok dengan bentuk yang membuatnya menjadi lebih sulit mengendap.

Karakteristik air yang hendak diolah akan mempengaruhi jenis dan jumlah koagulan yang sebaiknya ditambahkan. Perubahan pH, suhu, alkalinitas, karbon organik total, dan turbiditas juga akan mempengaruhi proses koagulasi, filtrasi, dan hasil akhir pengolahan. Pendokumentasian harian operasi dan kegiatan pabrik sebaiknya dilakukan untuk memberikan petunjuk bagi operator IPAL ketika memberikan dosis koagulan sesuai kondisi air limbah yang hendak diolah.



**Gambar 5. 3.** Penurunan kekeruhan pada Variasi Dosis Koagulan

Kecepatan dan waktu pengendapan berkaitan dengan berat dan ukuran dari flok-flok yang terbentuk, pada ukuran flok yang lebih besar akan lebih cepat mengendap. Mekanisme yang berhubungan dengan waktu pengendapan flok yaitu adanya kontak yang dihasilkan dari partikel yang mempunyai kecepatan mengendap yang lebih besar bergabung dengan partikel yang mempunyai kecepatan mengendap yang lebih kecil, sehingga memiliki kecepatan mengendap yang lebih besar serta waktu pengendapan yang lebih cepat (Degremont, 1979).



**Gambar 5. 4.** Penurunan kekeruhan pada Variasi Dosis Koagulan

Dari gambar serta data penurunan kekeruhan terlihat koagulan PAC dapat bekerja lebih baik pada limbah cair pabrik Jamu dari pada penggunaan koagulan  $\text{FeSO}_4$ . Pada dosis PAC 0,163 g/L diperoleh persentase penyisihan paling tinggi yaitu 99,24%, sedangkan untuk PAC 0,250 g/L penyisihan menurun sedikit yaitu 98,89.



## **BAB VI. KESIMPULAN**

Koagulan PAC dapat menyisihkan kekeruhan lebih tinggi daripada koagulan  $\text{FeSO}_4$ .

Dosis PAC yang menyebabkan penyisihan paling tinggi adalah 0,163 g/L mencapai nilai 99,24%

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Designation(2009): D 2035-08 *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*.
- Degremont. (1979). *Water Treatment Handbook Fifth Edition*. New York: John Willey and Son.
- Ebeling, James M. dan Sarah R. Ogden (2004), “*Application of Chemical Coagulation Aids for the Removal of Suspended Solids (TSS) and Phosphorus from the Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System*”, North American Journal of Aquaculture 66:198-207.
- Environmental Protection Agency (2002), “*Water Treatment Manuals: Coagulation, Flocculation & Clarification*”, Wexford, Irlandia.
- Gebbie, Peter (2005), “*A Dummy’s Guide to Coagulants*”, 68<sup>th</sup> Annual Water Industry Engineers and Operators, Conference Schweppes Centre, Bendigo.
- Irsyad dan Damanhuri. (2006). *Modul Praktikum Laboratorium Lingkungan*. Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Lampiran I Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang *Perubahan atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah*
- Malhotra, Sonu (1994), “*Poly Aluminium Chloride as an Alternative Coagulant*”, 20<sup>th</sup> WEDC Conference on Affordable Water Supply and Sanitation, Colombo, Sri Lanka.
- Metcalf dan Eddy, Inc. (2004). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Ed. IV. McGraw-Hill, Singapura.
- Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 09 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Pengolahan Obat Tradisional/ jamu
- Risdianto, Dian (2007), “*Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul)*”, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Yuliati, Suci (2006), “*Proses Koagulasi-Flokulasi pada Pengolahan Tersier Limbah Cair PT Capsugel Indonesia*”, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.